

文章编号: 1000-8152(2001)05-0792-04

一种新的橡胶炭黑分散性识别方法*

王明兰

(华南师范大学数学系·广州, 510631)

摘要: 将计算机数字图像处理技术与数理统计学中的判别分析方法相结合, 建立了判定橡胶中炭黑分散性等级的新方法. 解决了难以处理的炭黑颗粒分布均匀性的测定, 克服了现行人工定性判别方法中存在的盲目性和局限性. 操作简便, 效果准确, 快速.

关键词: 炭黑分散型; 数字图像处理; 判别分析

文献标识码: A

A New Method of Rubber Carbon Dispersion Judgement

WANG Minglan

(Department of Mathematics, South China Normal University · Guangzhou, 510631, P. R. China)

Abstract: The technique of computer Digital Image Processing and the Discriminant Analysis Method in statistics are integrated in this article to put forward a new method to control the judgement of carbon dispersion in rubber. Such difficult point in the relevant researches as how to handle the uneven carbon particles will be solved by means of this method. Moreover, the blindness and the limitation in traditional manual method can be prevented. The method is easy to be handled with accuracy and quickness.

Key words: carbon dispersion; digital image processing; discriminant analysis method

1 引言(Introduction)

炭黑的分散性是评价混炼胶质量好坏的一个重要方面, 炭黑在胶料中分散得均匀与否直接影响到后续工艺和最终产品的质量. 目前, 国内外比较通用的测定橡胶中炭黑分散性的方法是 ASTM D 2663 标准中的 A 法和 B 法, A 法是目测法 (visual inspection)^[1], B 法是定量测量法 (agglomerate count)^[1]. 在这两种方法的基础上, 当今国内橡胶厂家使用的分散度分析仪器可以分成人工判定和自动判定两类. 由北京橡胶研究设计院研制的 RCTVLM 橡胶彩色电视显微镜系统是人工判定分散度的仪器, 其方法是让外界光源照在胶料切割表面上, 通过显微镜放大, 摄影成像或显示在电视屏幕上, 由检验员目测, 与 GB 6030-85 标准的 10 级照片对照, 判定出炭黑分散度等级, 即: 称为显微照像法. 此类方法存在一定的缺陷, 因为它很大程度上依赖于检验员的知识水平和经验, 要受人为主观因素的影响. 由瑞典 OPTI-GRADE 公司制造的 DISPERGRADER 1000 型

炭黑分散度仪, 采用图像处理技术, 实现了分散度的自动判定. 但在使用中发现, 该仪器对同一胶料的多次重复测试中, 会判定出不同的等级; 另外, 此仪器售价昂贵, 高达人民币 40 万, 国内大部分厂家无力接受. 因此, 自行开发研制定级稳定、精度高的炭黑分散度检测体系, 成为国内橡胶行业亟待解决的一个课题.

2 判别方法的研究 (Study on the discriminant method)

判别分类方法的思路是: 对原始数据进行坐标变换, 寻求能够将各个总体之间尽可能分开的方向.

如图 1 所示, 当原始数据为 2 维 (x_1, x_2) , 即在原坐标系 Ox_1x_2 上, 很难将两总体的数据点分开, 若能寻找到方向 γ , 将原始数据向 γ 方向上投影, 使其投影在 γ 方向上尽可能地分开, 就可以很好地区分两个总体.

设总体 $\pi_i, i = 1, 2, \dots, g$, 有公共协方差矩阵 Σ , μ_i 为总体 π_i 的均值向量, 记:

* 基金项目: 广东省自然科学基金(99044)资助项目.

收稿日期: 2000-11-10; 收修改稿日期: 2001-04-20.

$$\bar{\mu} = 1/g \sum_{i=1}^g \mu_i, B_0 = \sum_{i=1}^g (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})'$$

作: $Y = l'X$, 对 $\pi_i, E(Y) = l'E(X/\pi_i) = l'\mu_i$, 对所有总体 $\text{var}(Y) = l'\text{cov}(X)l = l'\Sigma l$, 总均值: $\bar{\mu}_Y = 1/g \sum_{i=1}^g \mu_{iy} = 1/g \sum_{i=1}^g l\mu_i = l'\bar{\mu}$, 其中: $\mu_{iy} = l'\mu_i$.

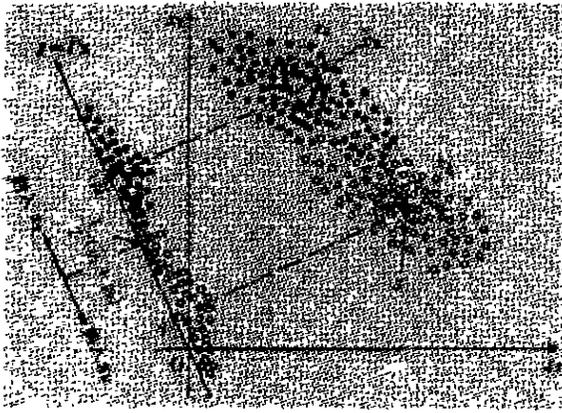


图 1 判别分析法示意图

Fig. 1 Discriminant analysis method

因为希望所建立的判别法则, 总体与总体之间尽可能地分开, 所以让总体与总体之间的差异尽可能地大, 即组间离差平方和尽可能地大, 同时, 又要使一个总体内部的差异尽可能地小, 即组内离差平方和尽可能地小, 因此, 作比值:

$$\frac{(Y \text{ 的各均值到总均值距离平方和})}{(Y \text{ 的方差})} =$$

$$\frac{\sum_{i=1}^g (\mu_{iy} - \bar{\mu}_Y)^2}{\sigma_Y^2} = \frac{\sum_{i=1}^g (l'\mu_i - l'\bar{\mu})^2}{l'\Sigma l} =$$

$$\frac{l'[\sum_{i=1}^g (\mu_i - \bar{\mu})(\mu_i - \bar{\mu})']l}{l'\Sigma l} = \frac{l'B_0 l}{l'\Sigma l},$$

选择 l , 使上式达到最大, 为方便起见, 约定 $l'\Sigma l = 1$.

令: $\Sigma^{-1/2}l = z$, 于是:

$$\max_l \frac{l'B_0 l}{l'\Sigma l} = \max_z \frac{z'\Sigma^{-1/2}B_0\Sigma^{-1/2}z}{z'z}$$

设 $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_k$ 为 $\Sigma^{-1/2}B_0\Sigma^{-1/2}$ 的正非零特征值, $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_k$ 为对应的标准正交化特征向量, 依据最大化引理^[2]:

$$\max_{\substack{z \perp \varphi \\ i=1,2,\dots,k-1}} \frac{z'\Sigma^{-1/2}B_0\Sigma^{-1/2}z}{z'z} = \delta_k,$$

且最大值在 δ_k 达到. 因为: $\Sigma^{-1/2}B_0\Sigma^{-1/2}\varphi_k = \delta_k\varphi_k$, 所以, $l_k = \Sigma^{-1/2}\varphi_k$ 为 $\Sigma^{-1}B_0$ 的特征向量, φ_k 为 $\Sigma^{-1}B_0$

的特征值 $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, s$.

3 判别方法的应用 (Application of the discriminant method)

3.1 获取数据 (Collecting data)

本文的软件是在 Windows 95 操作系统下, 用 Microsoft 的 Visual Basic 4.0-for enterprise 作为工具设计完成^[3]. 制成可执行文件后, 在 32 位 486 以上机的 Windows 95 环境下运行. 在实际生产中, 胶料中炭黑分散度等级, 出现的有 1~8 级, 故在此范围内讨论. 1~8 级各选出 25 张, 共 200 张, 经扫描仪按 1:1 的比例扫描成 256 色 8 位彩色的 bmp 图形文件, 存入计算机内.

首先, 将彩色图形文件进行灰度化处理, 局部统计滤波处理^[4,5]和黑白化处理, 突出图像中需要的部分, 将炭黑分散性的图像信号转化为数字信号. 对黑白图像中“白块颗粒(表示炭黑颗粒)”, 用计算机图形学“种子填充算法”^[4]计算出“颗粒”面积值(以像素点为单位)落在某一范围的颗粒个数与这些颗粒面积之和.

对每一张胶料彩色图片刻划其炭黑分散性, 共选取 10 个指标 $Z_i, i = 1, 2, \dots, 10$. 选取方法为: 整张图片中, 炭黑颗粒的面积为 M_i 个像素点的颗粒个数之和, 除以炭黑颗粒的面积超过 9 个像素点的颗粒个数之和; 其中, 当 $i = 1$ 时, M_i 为 10 至 40; 当 $i = 2$ 时, M_i 为 40 至 80; 当 $i = 3$ 时, M_i 为 80 至 120; 当 $i = 4$ 时, M_i 为 120 至 160; 当 $i = 5$ 时, M_i 为超过 160. 将一张图片, 按上、下、左、右的位置, 平均分成四块, 计算这四块中炭黑颗粒面积为 M_i 个像素点的颗粒面积之和, 除以 1/4 整张图片面积, 记为: 上 Z_i 、下 Z_i 、左 Z_i 、右 Z_i , 进而求得这四个值的均方差, 记为指标 $Z_i, i = 6, 7, \dots, 10$; 其中, 当 $i = 6$ 时, M_i 为 10 至 40; 当 $i = 7$ 时, M_i 为 40 至 80; 当 $i = 8$ 时, M_i 为 80 至 120; 当 $i = 9$ 时, M_i 为 120 至 160; 当 $i = 10$ 时, M_i 超过 160.

3.2 方法的应用 (Application of the method)

为了使所建立的判别分类法则效果好, 需 8 个级别的样本协方差矩阵近似相等, 故对 Z_i 进行标准化变换, $x_i = \frac{z_i - \text{mean}}{\text{std} \cdot \text{dev}}, i = 1, 2, \dots, 10$. 假设各个级别的数据 x_i 的样本协方差阵为 $S_k, k = 1, 2, \dots, 8$. 对 $H_0: S_1 = S_2 = \dots = S_8$ 进行假设检验^[2], 由显著

性水平 $\alpha = 0.05$ 的 χ^2 分布可得, 不能拒绝 H_0 , 即这 8 个级别的协方差矩阵没有显著差异.

本课题中, 设各个级别为一总体 $\pi_i, i = 1, 2, \dots, 8, \mu_i$ 和 Σ 是未知的, 用总体的样本来估计. l 的估计量为 \hat{l} , 各个级别的数据 x_i 的样本协方差阵为 S_i . 事实上, $W = \sum_{i=1}^8 (n_i - 1) S_i, S_p = W / (n_1 + n_2 + \dots + n_8 - 8)$ 为 Σ 的无偏估计, $\max \frac{\hat{l}' \hat{B}_0 \hat{l}}{\hat{l}' S_p \hat{l}}$ 与

$\max \frac{\hat{l}' \hat{B}_0 \hat{l}}{\hat{l}' W \hat{l}}$ 有相同的解 \hat{l} , 用 $W^{-1} \hat{B}_0$ 的特征向量 e_i 来表示极值问题的解 \hat{l} . 在不损失判别信息的前提下, 取 $W^{-1} \hat{B}_0$ 的特征值 λ_1, λ_2 的特征向量:

$$\begin{aligned} e_1 &= (0.1127, 0.1052, 0.2556, 0.358, 0.914, \\ &\quad 0.0481, 0.1764, 0.1859, 0.1381, 0.1902), \\ e_2 &= (0.3684, 0.1058, 0.0724, 0.7052, 0.8028, \\ &\quad 0.3609, 0.4815, 0.1764, 0.836, 0.143). \end{aligned}$$

因 $c_1^2 e_1' S_p e_1 = 1$, 所以 $c_1 = 6.01$; 又因 $c_2^2 e_2' S_p e_2 = 1$, 所以 $c_2 = 3.28$, 对各个级别数据 x_i , 建立判别分析分类函数^[6]:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 6.01 * (0.1127 x_1 + 0.1052 x_2 + 0.2556 x_3 + \\ &\quad 0.358 x_4 + 0.914 x_5 + 0.0481 x_6 + 0.1764 x_7 + \\ &\quad 0.1859 x_8 + 0.1381 x_9 + 0.1902 x_{10}), \\ \gamma_2 &= 3.28 * (0.3684 x_1 + 0.1058 x_2 + 0.0724 x_3 + \\ &\quad 0.7052 x_4 + 0.8028 x_5 + 0.3609 x_6 + 0.4815 x_7 + \\ &\quad 0.1764 x_8 + 0.836 x_9 + 0.143 x_{10}). \end{aligned}$$

即将 200 张图片的 10 个指标变换为 2 个指标, 变换后, 不同等级的 $\gamma_i (i = 1, 2)$ 尽可能地分离开, 便于更精确地分类.

计算出上述 200 张图片的 γ_1, γ_2 , 记各个级别 25 个 γ_1, γ_2 的平均值为 $\bar{\gamma}_{1k}, \bar{\gamma}_{2k}, k = 1, 2, \dots, 8$. 建立判别分析分类法则为: $w_k = | \gamma_1 - \bar{\gamma}_{1k} | + | \gamma_2 - \bar{\gamma}_{2k} |$, $k = 1, 2, \dots, 8$.

根据“模糊数学”中 F 模式识别原则, 按“最大隶属原则”归类^[7], 比较 $1/w_k (k = 1, 2, \dots, 8)$ 的大小, 取 $\max \{1/w_1, 1/w_2, \dots, 1/w_8\}$, 若 $\max \{1/w_1, 1/w_2, \dots, 1/w_8\} = 1/w_k, k = 1, 2, \dots, 8$, 则判定该张图片为 k 级, $i = 1, 2, \dots, 8$.

3.3 试验结果(Experiment result)

图 2, 3, 4 为一张待定级的图片, 扫描存入计算机后, 经过以下 5 步, 定出该图片中炭黑分散度的等级.

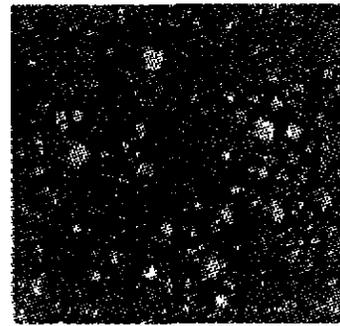


图 2 灰度化处理
Fig. 2 Make it grey

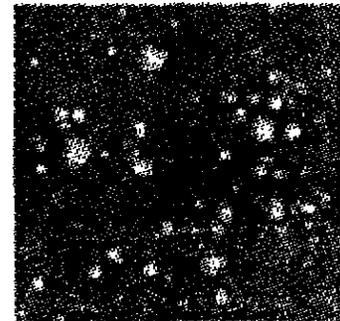


图 3 局部统计滤波处理
Fig. 3 Local statistic filter

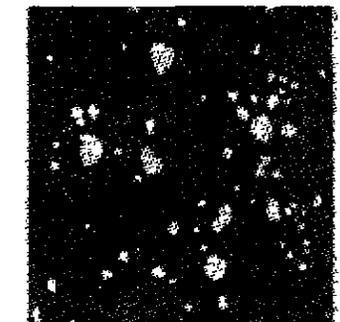


图 4 黑白化处理
Fig. 4 Make it black and white

- 1) 图形处理; 灰度化、局部统计滤波、黑白化;
- 2) 计算 10 个指标值, $Z_1 = 0.451, Z_2 = 0.232, Z_3 = 0.579, Z_4 = 1.812, Z_5 = 1.887, Z_6 = 0.021, Z_7 = 0.371, Z_8 = 0.786, Z_9 = 0.919, Z_{10} = 1.012$;
- 3) 由判别分析分类函数, 获得 $\gamma_1 = 0.751, \gamma_2 = 0.701$;
- 4) 代入判别分析分类法则, 获得 $w_1 = 0.266, w_2 = 0.352, w_3 = 0.159, w_4 = 0.01, w_5 = 0.614, w_6 = 1.07, w_7 = 0.975, w_8 = 1.228$;
- 5) 比较 $1/w_k (k = 1, 2, \dots, 8)$ 的大小, 因为 $\max \{1/w_1, 1/w_2, \dots, 1/w_8\} = 100 = 1/w_4$, 所以判定该图片为 4 级.

操作更简便.如图 5 窗口中左边的图形是被测胶料图片扫描后的图形,只需单击快捷方式,即弹出右边的窗口,显示判定的级别为 3 级.

将本文的方法应用到工厂,从反馈的效果和橡胶专家的评议来看,它为一种行之有效的方法,克服

了目前采用的显微照像法中人为因素对等级判定的影响,杜绝了同一照片会判定出不同等级的现象.

炭黑的分散性是各种填充材料在混合物中分散性的一个方面,炭黑分散性模式识别系统的建立是填充材料在混合物中分散形态研究的一个探索.



图 5 用判别分析法判定等级后的结果显示

Fig. 5 The indication of the grading result after using the discriminant analysis method

参考文献(References)

- [1] Beijing Rubber Industry Research and Design Institute. A Manual of Rubber Industry [M]. Beijing: Beijing Chemical Industry Press, 1999, 81 - 109
- [2] Sun Wenshuang. Multi-Element Statistic Analysis [M]. Beijing: Beijing Higher Education Press, 1994, 153 - 181
- [3] Zhao Shengli. Visual Basic 3.0 for Windows Programming Practical Handbook [M]. Beijing: People Telecom Press, 1997, 64 - 137
- [4] Sun Jiaguang. Computer Graphics[M]. Beijing: Qinghua University Press, 1994, 92 - 280
- [5] Wang Fengyuan and Zhou Yiming. A method of circle particles test in graph process [J]. Agriculture Engineering Journal, 1998, 14 (3): 206 - 209
- [6] Wang Xueren. Practical Multi-Element Statistic Analysis [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1996, 346 - 390
- [7] Yang Lumbiao and Gao Yingyi. Fuzzy Mathematics Theory and Application [M]. Guangzhou: South China University of Technology Press, 1993, 59 - 90

本文作者简介

王明兰 1962年生,毕业于华南理工大学应用数学系,获硕士学位.现任华南师范大学数学系教师.研究方向:数理统计与经济信息管理.